

This Page Is Inserted by IFW Operations
and is not a part of the Official Record

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

**As rescanning documents *will not* correct images,
please do not report the images to the
Image Problem Mailbox.**

(19)



JAPANESE PATENT OFFICE

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: 07074381 A

(43) Date of publication of application: 17.03.95

(51) Int. Cl.

H01L 31/10

(21) Application number: 05217387

(22) Date of filing: 01.09.93

(71) Applicant: MITSUBISHI ELECTRIC CORP

(72) Inventor: KAKIMOTO SHOICHI

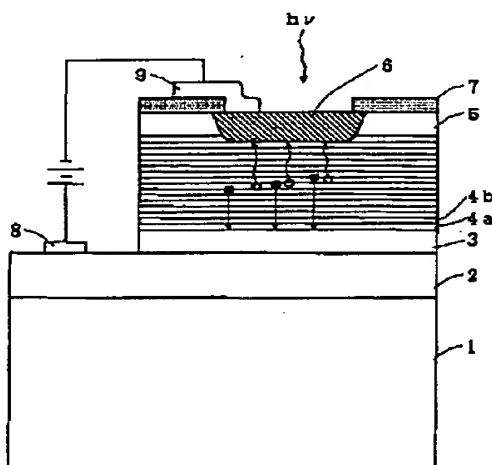
(54) SEMICONDUCTOR PHOTODETECTOR

COPYRIGHT: (C)1995,JPO

(57) Abstract:

PURPOSE: To obtain a semiconductor photodetector with a fast response speed for irradiation with light by increasing the mobility of positive holes.

CONSTITUTION: $\text{In}_{0.53-x}\text{Ga}_{0.47+x}\text{As}$ distortion superlattice layer 4a is formed on n-type InP buffer layer 3, $\text{In}_{0.53+x}\text{Ga}_{0.47-x}\text{As}$ distortion superlattice layer 4b is formed on it to form a pair, and a number of pair structures are laminated; thus forming a light absorption layer, where the conditions of X expressing the composition ratio of the superlattice layer is $X > 0$. Therefore, since the effective mass of carriers generated due to incident light in a light absorption layer can be reduced, thus increasing the response speed for the irradiation with light due to increase in the mobility of carriers at the light absorption layer. Also, since mutual stresses can be canceled by alternately laminating first and second distortion superlattice layers, the damage of light absorption layer due to stress can be prevented.



J1017 U.S. PTO
09/873264
06/05/01

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平7-74381

(43) 公開日 平成7年(1995)3月17日

J1017 U.S. PTO
09/873264
06/05/01

(51) Int.Cl.⁶

H 0 1 L 31/10

識別記号

庁内整理番号

F I

技術表示箇所

H 0 1 L 31/10

A

審査請求 未請求 請求項の数2 O L (全7頁)

(21) 出願番号

特願平5-217387

(22) 出願日

平成5年(1993)9月1日

(71) 出願人 000006013

三菱電機株式会社

東京都千代田区丸の内二丁目2番3号

(72) 発明者 柿本 昇一

兵庫県伊丹市瑞原4丁目1番地 三菱電機
株式会社光・マイクロ波デバイス開発研究
所内

(74) 代理人 弁理士 高田 守

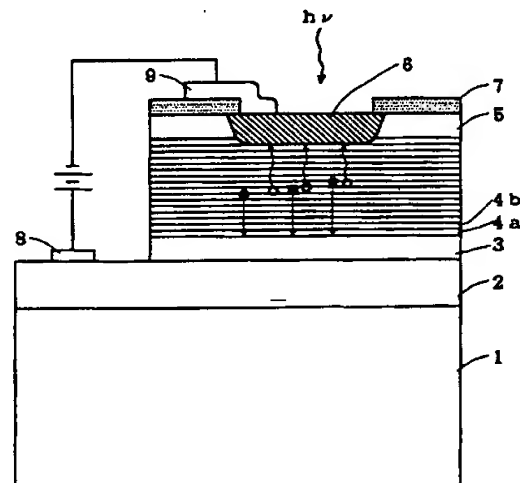
(54) 【発明の名称】 半導体受光素子

(57) 【要約】

【目的】 正孔の移動度を高めて、光照射に対する応答速度が速い半導体受光素子を得ることを目的とする。

【構成】 n型InPバッファ層3の上にはIn_{0.53}-xGa_{0.47}-xA_x歪超格子層4aが形成され、その上にはIn_{0.53}-xGa_{0.47}-xA_x歪超格子層4bが形成されて対をなし、この対構造が多数積層されて光吸収層が形成されている。ここで超格子層の組成比を表すXの条件はX>0である。

【効果】 光吸収層において入射光により発生したキャリアの有効質量が軽減されるので、光吸収層でのキャリアの移動度が大きくなって光照射に対する応答速度を速くすることができ、かつ、第1、第2歪超格子層を交互に積層することで互いの応力をキャンセルすることができるので、応力による光吸収層の破壊を防止することができる。



4 a : In_{0.53}-xGa_{0.47}-xA_x 歪超格子層
4 b : In_{0.53}-xGa_{0.47}-xA_x 歪超格子層

【特許請求の範囲】

【請求項1】 第1導電型の第1半導体層と、

第2導電型の第2半導体層と、

前記第1半導体層および第2半導体層との間に形成された光吸収層とを有する半導体受光素子において、

前記光吸収層が、 $\text{In}_{0.53}\text{Ga}_{0.47}\text{As}$ で形成され引張り応力を有する第1歪超格子層と、 $\text{In}_{0.53}\text{Ga}_{0.47}\text{As}$ で形成され圧縮応力を有する第2歪超格子層とを交互に多数積層して形成されたことを特徴とする半導体受光素子。

【請求項2】 第1導電型の第1半導体層と、

第2導電型の第2半導体層と、

前記第1半導体層および第2半導体層との間に形成された光吸収層とを有する半導体受光素子において、

前記光吸収層が、 $\text{In}_{0.53}\text{Ga}_{0.47}\text{As}_{1-y}\text{P}_y$ で形成され引張り応力を有する第1歪超格子層と、 $\text{In}_{0.53}\text{Ga}_{0.47}\text{As}_{1-y}\text{P}_y$ で形成され圧縮応力を有する第2歪超格子層とを交互に多数積層して形成されたことを特徴とする半導体受光素子。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は半導体受光素子に関し、特に高速応答可能な半導体受光素子に関する。

【0002】

【従来の技術】 図7は従来の InGaAs 系半導体受光素子の構造を示す断面図である。図7において半絶縁性 InP 基板1の上に、 n^+ InP コンタクト層2が形成され、該層の表面には正電位を与える正電極8が形成されている。 n^+ InP コンタクト層2の上に n 型 InP バッファ層3が形成されている。 n 型 InP バッファ層3の上には $\text{In}_{0.53}\text{Ga}_{0.47}\text{As}$ 光吸収層4が形成され、その上に n 型 InP 窓層5が形成されている。 n 型 InP 窓層5の内部には p 型拡散領域6が設けられ、該領域に接し、負電位を与えるための負電極9が絶縁膜7を挟んで形成されている。

【0003】 次に図7を用いて動作について説明する。正電極8および負電極9に各々正電位および負電位を印加することで、この受光素子には逆バイアス電圧が印加されることになる。この状態で図7に示されるように、 n 型 InP 窓層5から光($h\nu$ で表示)が入射し $\text{In}_{0.53}\text{Ga}_{0.47}\text{As}$ 光吸収層4に到達すると、ここに正孔と電子のペアを発生させる。発生した正孔は印加されたバイアスにより p 型拡散領域6に向かって走行し、電子は逆に n 型 InP バッファ層3に向かって走行するので、正電極8および負電極9の間に光電流が流れることになる。この電流を出力として取り出せば、光照射の有無に対応してオン/オフする電気信号を得ることができる。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】 従来の半導体受光素子

は以上のように構成されているので、光照射に対する電気信号出力の応答速度は容量(C)とインダクタンス

(L)による遅れを除けば、 $\text{In}_{0.53}\text{Ga}_{0.47}\text{As}$ 光吸収層4で発生した電子と正孔の走行速度によって制限されることになる。一般に電子の有効質量は軽く、正孔の有効質量は重いので正孔の移動度が小さく、これによって応答速度が制限されることになる。

【0005】 本発明は上記のような問題点を解決するためになされたものであり、正孔の移動度を高めて、光照射に対する応答速度が速い半導体受光素子を得ることを目的とする。

【0006】

【課題を解決するための手段】 本発明に係る半導体受光素子の第1の態様は、第1導電型の第1半導体層と、第2導電型の第2半導体層と、前記第1半導体層および第2半導体層との間に形成された光吸収層とを有する半導体受光素子において、前記光吸収層が、 $\text{In}_{0.53}\text{Ga}_{0.47}\text{As}$ で形成され引張り応力を有する第1歪超格子層と、 $\text{In}_{0.53}\text{Ga}_{0.47}\text{As}$ で形成され圧縮応力を有する第2歪超格子層とを交互に多数積層して形成されたことを特徴とする。

【0007】 本発明に係る半導体受光素子の第2の態様は、第1導電型の第1半導体層と、第2導電型の第2半導体層と、前記第1半導体層および第2半導体層との間に形成された光吸収層とを有する半導体受光素子において、前記光吸収層が、 $\text{In}_{0.53}\text{Ga}_{0.47}\text{As}_{1-y}\text{P}_y$ で形成され引張り応力を有する第1歪超格子層と、 $\text{In}_{0.53}\text{Ga}_{0.47}\text{As}_{1-y}\text{P}_y$ で形成され圧縮応力を有する第2歪超格子層とを交互に多数積層して形成されたことを特徴とする半導体受光素子。

【0008】

【作用】 本発明に係る半導体受光素子の第1の態様によれば、光吸収層を引張り応力を有する $\text{In}_{0.53}\text{Ga}_{0.47}\text{As}$ の第1歪超格子層および圧縮応力を有する $\text{In}_{0.53}\text{Ga}_{0.47}\text{As}$ の第2歪超格子層で形成することにより、各々の歪超格子層において入射光により発生したキャリアの有効質量が軽減されるので、光吸収層でのキャリアの移動度が大きくなり、かつ、第1、第2歪超格子層を交互に積層することで互いの応力をキャンセルすることができる。

【0009】 本発明に係る半導体受光素子の第2の態様によれば、光吸収層を引張り応力を有する $\text{In}_{0.53}\text{Ga}_{0.47}\text{As}_{1-y}\text{P}_y$ の第1歪超格子層および圧縮応力を有する $\text{In}_{0.53}\text{Ga}_{0.47}\text{As}_{1-y}\text{P}_y$ の第2歪超格子層で形成することにより、各々の歪超格子層において入射光により発生したキャリアの有効質量が軽減されるので、光吸収層でのキャリアの移動度が大きくなり、かつ、第1、第2歪超格子層を交互に積層することで互いの応力をキャンセルすることができ、さらに、Pを含むことにより、より短い波長域の光に反応すること

が可能になる。

【0010】

【実施例】図1は本発明に係る半導体受光素子の第1の実施例を示す断面図である。図1においてn型InPバッファ層3の上には、 $\text{In}_{0.53-x}\text{Ga}_{0.47+x}\text{As}$ 歪超格子層4aが形成され、その上には $\text{In}_{0.53+x}\text{Ga}_{0.47-x}\text{As}$ 歪超格子層4bが形成されて対をなし、この対構造が多数積層されて光吸収層が形成されている。ここで、歪超格子層はMOCVD (Metal Organic Chemical Vapor Deposition) 法、あるいはVPE (Vapor Phase Epitaxy) 法、あるいはMBE (Molecular Beam Epitaxy) 法で形成され、歪超格子層の組成比を表すXの条件は $X > 0$ である。その他の構成は図7で説明した従来の半導体受光素子と同様である。また、光照射にตอบสนองして出力信号が得られる基本動作も図7で説明した従来の半導体受光素子と同様である。

【0011】次に図2および図3を参照して $\text{In}_{0.53-x}\text{Ga}_{0.47+x}\text{As}$ 歪超格子層4aおよび $\text{In}_{0.53+x}\text{Ga}_{0.47-x}\text{As}$ 歪超格子層4bの動作について説明する。InおよびGaを原子レベルで比較すると、Inの方が原子番号が大きいので、原子半径も近似的に原子番号の3乗根に比例して大きくなる。図2は $\text{In}_{0.53-x}\text{Ga}_{0.47+x}\text{As}$ 歪超格子層4aの構造を、図3は $\text{In}_{0.53+x}\text{Ga}_{0.47-x}\text{As}$ 歪超格子層4bの構造を模式的に表した図である。図2において、原子の小さいGaがリッチである場合は周囲から引張られるように力を受けるので、層全体としては引張り応力が加わる。逆に図3に示されるように、原子の大きいInがリッチである場合は周囲から押しつぶされるように圧縮を受けるので、層全体としては圧縮応力が加わる。

* $\text{Ga}_{0.47-x}\text{As}$ 歪超格子層4bの構造を模式的に表した図である。図2において、原子の小さいGaがリッチである場合は周囲から引張られるように力を受けるので、層全体としては引張り応力が加わる。逆に図3に示されるように、原子の大きいInがリッチである場合は周囲から押しつぶされるように圧縮を受けるので、層全体としては圧縮応力が加わる。

【0012】引張り応力が加わる $\text{In}_{0.53-x}\text{Ga}_{0.47+x}\text{As}$ 歪超格子層4aと、圧縮応力が加わる $\text{In}_{0.53+x}\text{Ga}_{0.47-x}\text{As}$ 歪超格子層4bとが交互に積層されているので、これらで形成される光吸収層は、各々の応力がキャンセルされて全体としては応力フリーの状態となる。

【0013】次に図4および図5を参照してGaAs歪超格子層における正孔の移動度について説明する。なお、以下の説明についての詳細は、「IEEE J. Quantum Electron., vol.25, PP171-178, 1989, T.C.Chong and C.G.Fonstad, "Teoretical Gain of Streined Layer Semiconductor Lasers in the Large Strein Regime"」に報告されている。

【0014】正孔のエネルギーEは次式のように表される。

【0015】

【数1】

$$E = E_v - \frac{h'^2 (k_{vec})^2}{2m^*} \quad \text{----- (1)}$$

【0016】(1)式において E_v は荷電子帯頂上のエネルギーを表し、 m^* は正孔の有効質量を表す。 h' はプランク定数 h を 2π で割った値($h/2\pi$)であり、 k_{vec} は波数ベクトルである。

* 【0017】(1)式から正孔の有効質量 m^* を求める
と次式のように表される。

【0018】

【数2】

$$m^* = \frac{h'^2}{(\partial^2 E / \partial k^2)} \quad \text{----- (2)}$$

【0019】図4に引張り応力による歪がある場合と歪がない場合のE-k曲線を示す。図4において縦軸は正孔のエネルギーEを表し、左横軸は超格子層平面内の波数 k_H を表し、右横軸は超格子層の垂直方向の波数 k_P を表す。図4において破線は歪がない場合の超格子層の荷電子帯の特性を表し、実線は引張り応力による歪がある場合の荷電子帯の特性を表す。歪がない場合は波数の変化に対する正孔のエネルギーEの変化は緩やかであり左右対称な特性を示している。一方、引張り応力により歪が発生すると荷電子帯のエネルギーがシフトし、バンドギャップが縮むことになる。また、特性は垂直方向よりも平面内での波数の変化に対する正孔のエネルギーEの変化が急峻であり、全体として $k=0$ における曲率は険しくなる。このことは(2)式において右辺分母が大きくなることであり、左辺の有効質量 m^* が小さくなることを意味している。

【0020】図5に圧縮応力による歪がある場合と歪が

ない場合のE-k曲線を示す。図5において縦軸は正孔のエネルギーEを表し、左横軸は超格子層平面内の波数 k_H を表し、右横軸は超格子層の垂直方向の波数 k_P を表す。図5において破線は歪がない場合の超格子層の荷電子帯の特性を表し、実線は圧縮応力による歪がある場合の荷電子帯の特性を表す。歪がない場合は波数の変化に対する正孔のエネルギーEの変化は緩やかであり左右対称な特性を示している。一方、圧縮応力により歪が発生すると荷電子帯のエネルギーがシフトし、バンドギャップが縮むことになる。また、特性は平面内よりも垂直方向での波数の変化に対する正孔のエネルギーEの変化が急峻であり、全体として $k=0$ における曲率は険しくなる。このことは(2)式において右辺分母が大きくなることであり、左辺の有効質量 m^* が小さくなることを意味している。また、引張り応力、圧縮応力どちらの場合も応力が強くなるに従って $k=0$ における曲率は険しくなり、有効質量 m^* もそれに伴って小さくなる。

【0021】 光照射に対する応答速度は正孔の移動度に支配されることは先に示したが、正孔の移動度 μ_h と有効質量 m^* との関係は以下のように表される。

【0022】

【数3】

$$\mu_h = \frac{e\tau_h}{m^*} \quad \text{----- (3)}$$

【0023】 (3)式において τ_h は緩和時間であり、正孔の運動量が $1/e$ に減少するまでの時間を示している。よって、有効質量 m^* が小さくなることで正孔の移動度が速くなることがわかる。

【0024】 本実施例では引張り応力が加わったIn_{0.53}-XGa_{0.47}-XAs歪超格子層4aと、圧縮応力が加わったIn_{0.53}+XGa_{0.47}-XAs歪超格子層4bによって光吸収層が形成されているので、応力の加わっていないInGaAs層に比べていずれの層においても正孔の有効質量 m^* が軽減され、正孔の移動度が速くなることで光照射に対する応答速度が速い半導体受光素子を得ることができる。

【0025】 また、本実施例では引張り応力が加わったIn_{0.53}-XGa_{0.47}-XAs歪超格子層4aと、圧縮応力が加わったIn_{0.53}+XGa_{0.47}-XAs歪超格子層4bを交互に積層して光吸収層を形成するので、光吸収層全体の厚さが例えば光を吸収するために十分な2.5 μ m程度の場合でも、引張り応力と圧縮応力がキャンセルされて全体としては応力フリーの状態となり、光吸収層の結晶の応力による破壊を防ぐことができる。

【0026】 図6は本発明に係る半導体受光素子の第2の実施例を示す断面図である。図6においてn型InP基板11の上にn型InPバッファ層12が形成されている。n型InPバッファ層12の上にはIn_{0.53}-XGa_{0.47}-XAs歪超格子層13aが形成され、その上にはIn_{0.53}+XGa_{0.47}-XAs歪超格子層13bが形成されて対をなし、この対構造が多数積層されて光吸収層13が形成されている。ここで超格子層の組成比を表すXの条件はX>0である。これらの超格子層の上にはp型InPコンタクト層14が形成され、その表面には負電位を与える負電極16が形成されている。正電極15はn型InP基板11の下面側に形成されている。

【0027】 次に図6を用いて動作について説明する。正電極15および負電極16に各々正電位および負電位を印加することで、この受光素子には逆バイアス電圧が印加されることになる。この状態で図6に示されるように、光吸収層13の側面から光(h ν で表示)が入射すると、光吸収層13において正孔と電子のペアを発生させる。発生した正孔は印加されたバイアスによりp型InPコンタクト層14に向かって走行し、電子は逆にn型InPバッファ層12に向かって走行するので、正電極15および負電極16の間に光電流が流れることになる。なお、引張り応力が加わったIn_{0.53}-XGa_{0.47}-X

As歪超格子層13aおよび圧縮応力が加わったIn_{0.53}+XGa_{0.47}-XAs歪超格子層13bにおける正孔の有効質量 m^* の軽減効果は第1の実施例と同様である。

【0028】 本実施例では光吸収層13の厚さを例えば0.1 μ m程度とし、電子および正孔の走行距離を短くして光照射に対する応答速度をさらに速めている。また、光吸収層13の厚みが薄いので、十分に光を吸収させるために端面より光を入射させる構造となっている。

【0029】 本実施例においても第1の実施例同様に、引張り応力が加わったIn_{0.53}-XGa_{0.47}-XAs歪超格子層13aと、圧縮応力が加わったIn_{0.53}+XGa_{0.47}-XAs歪超格子層13bを交互に積層しているので、引張り応力と圧縮応力がキャンセルされて全体としては応力フリーの状態となり、光吸収層13の結晶の応力による破壊を防ぐことができる。

【0030】 以上説明した本発明に係る半導体受光素子の第1および第2の実施例は共に以下に説明するような変形が可能である。すなわち、引張り応力を有する超格子層をIn_{0.53}-XGa_{0.47}-XAs_yP_{1-y}歪超格子層で形成し、圧縮応力を有する超格子層をIn_{0.53}+XGa_{0.47}-XAs_yP_{1-y}歪超格子層で形成することによっても、第1および第2の実施例と同様の効果を得ることができ、かつ、前述の実施例で説明した半導体受光素子よりも短い波長域の光に反応する半導体受光素子を得ることができる。

【0031】

【発明の効果】 請求項1記載の半導体受光素子によれば、光吸収層において入射光により発生したキャリアの有効質量が軽減されるので、光吸収層でのキャリアの移動度が大きくなって光照射に対する応答速度を速くすることができ、かつ、第1、第2歪超格子層を交互に積層することで互いの応力をキャンセルすることができるので光吸収層の応力による破壊を防止することができる。

【0032】 請求項2記載の半導体受光素子によれば、光吸収層において入射光により発生したキャリアの有効質量が軽減されるので、光吸収層でのキャリアの移動度が大きくなって光照射に対する応答速度を速くすることができ、かつ、第1、第2歪超格子層を交互に積層することで互いの応力をキャンセルすることができるので、応力による光吸収層の破壊を防止することができる。また、光吸収層をIn_{0.53}-XGa_{0.47}-XAs_yP_{1-y}歪超格子層およびIn_{0.53}+XGa_{0.47}-XAs_yP_{1-y}歪超格子層で形成するので、Pを含まない場合に比べて短い波長域の光に反応する半導体受光素子を得ることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明に係る半導体受光素子の第1の実施例を示す断面図である。

【図2】 In_{0.53}-XGa_{0.47}-XAs歪超格子層の構造を説明する模式図である。

【図3】 $\text{In}_{0.53}\text{Ga}_{0.47}\text{As}$ 歪超格子層の構造を説明する模式図である。

【図4】 引張り応力による歪がある場合と歪がない場合の $E-k$ 曲線を示す図である。

【図5】 圧縮応力による歪がある場合と歪がない場合の $E-k$ 曲線を示す図である。

【図6】 本発明に係る半導体受光素子の第2の実施例を示す断面図である。

【図7】 従来の半導体受光素子を示す断面図である。

【符号の説明】

4 a、13 a $\text{In}_{0.53}\text{Ga}_{0.47}\text{As}$ 歪超格子層

4 b、13 b $\text{In}_{0.53}\text{Ga}_{0.47}\text{As}$ 歪超格子層

11 n型InP基板

12 n型InPバッファ層

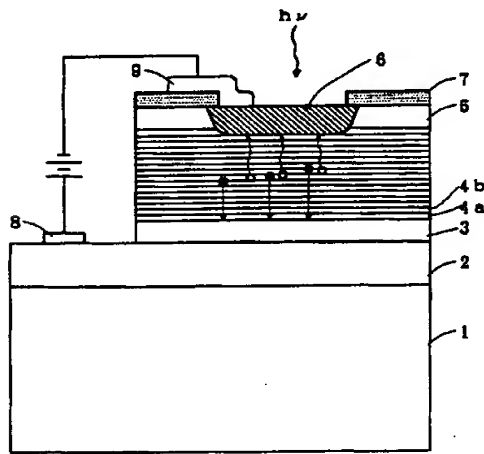
13 光吸収層

14 p型InPコンタクト層

15 正電極

16 負電極

【図1】

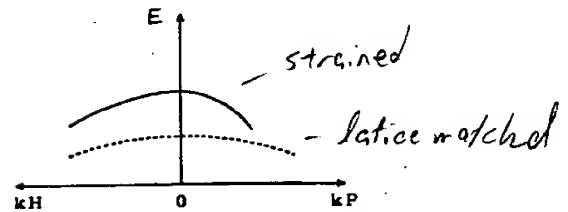


4 a : $\text{In}_{0.53}\text{Ga}_{0.47}\text{As}$ 歪超格子層
4 b : $\text{In}_{0.53}\text{Ga}_{0.47}\text{As}$ 歪超格子層

【図2】



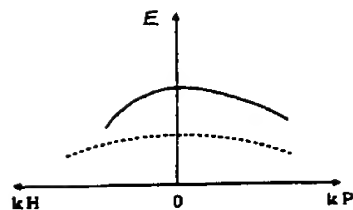
【図5】



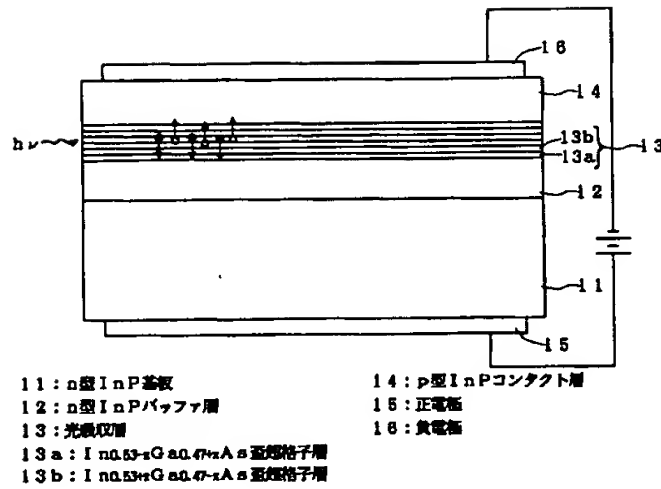
【図3】



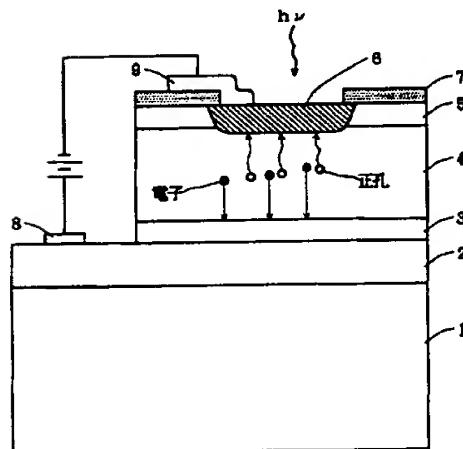
【図4】



【図6】



【図7】



【手続補正書】

【提出日】平成6年1月21日

【手続補正1】

【補正対象書類名】図面

【補正対象項目名】図7

【補正方法】変更

【補正内容】

【図7】

